Décanteur dynamique NEMEAU[®] 450 et valorisation de matériaux fins

Lionel MANCIOPPI¹, Philippe DHERVILLY¹, Daniel LEVACHER²

1. SEDIGATE S.A.S., 17 rue Claude Bloch, BP 25 102, 14000 Caen Cedex, France.

l.mancioppi@sedigate.com ; contact@sedigate.com

2. Université de Caen, Laboratoire de Morphodynamique Continentale et Côtière,

M2C UMR 6143, 2-4 rue des Tilleuls, 14000 Caen.

daniel.levacher@unicaen.fr

Résumé :

En France chaque année, les opérations de dragage dans les ports, les voies navigables et les plans d'eau génèrent 50 à 60 millions de m³ de sédiments. La réglementation impose une gestion à terre suivant le degré de pollution des sédiments et la comparaison de celle-ci à des seuils de référence N1 et N2 (GEODE, 2000). Mais la gestion à terre des sédiments de dragage est confrontée à la raréfaction des sites de dépôts à terre. Ce mode de gestion ne constitue qu'une solution intermédiaire et temporaire car les disponibilités en espace sont très limitées. Face à cette problématique, la société SEDIGATE propose une solution innovante pour la gestion à terre des sédiments, le procédé NEMEAU[®] 450. Ce procédé repose sur un décanteur dynamique capable de séparer la matière solide du liquide sous fort débit (450 m³/h), de réintégrer une eau clarifiée dans le milieu, de réduire les volumes de boues d'un facteur dix et de rendre le matériau pelletable et valorisable en fin de procédé. Les performances techniques de NEMEAU[®] 450 permettent d'obtenir des sédiments, en fin de procédé, ayant une siccité variant de 40 à 50%, un paramètre déterminant pour une valorisation des sédiments en matériaux routiers. De plus la société SEDIGATE a développé et contribué à la valorisation des sédiments par la mise en place de formulations à base de liants pouzzolaniques considérés comme des liants écologiques, capable de fournir des performances mécaniques et environnementales similaires aux liants hydrauliques.

Mots-clés :

Sédiments portuaires – Fines de carrière – Gestion à terre – Liants pouzzolaniques – Valorisation

1. Introduction

Le décanteur dynamique NEMEAU[®] 450 est issu d'un vaste programme de recherche et de développement qui a abouti à la réalisation d'une machine à déshydrater dont la particularité est d'être conçue en trois containers aux gabarits routiers et ferroviaires. Ce type d'assemblage lui confère une hyper mobilité pour l'accès à de multiples chantiers. A travers, la réalisation d'une campagne d'essais et d'un chantier concernant la

déshydratation respective de sédiments et de fines de carrière, les performances du décanteur dynamique ont été validées et vérifiées selon la diversité des matériaux fins. En continuité à la déshydratation mécanisée, la société SEDIGATE développe des formulations robustes principalement pour des matériaux routiers et piétonniers en proposant de covaloriser des sous-produits industriels i.e. des cendres volantes. Pour ce faire, des études en laboratoire ont été menées sur des matériaux fins. On rapporte ici le cas de traitements appliqués aux sédiments de Concarneau, (MANCIOPPI *et al.*, 2011, Etudes de traitements et de valorisation des sédiments de Concarneau). L'objectif était de valoriser un volume total de 8000 m³ de sédiments non immergeables en égard à la contamination en métaux lourds : arsenic, nickel, plomb, cuivre et zinc. Cette valorisation était destinée au remplissage d'une zone de stockage en milieu confiné à l'aide de géomembranes et de géotextiles.

2. Matériels et méthodes

2.1 Déshydratation mécanisée des matériaux fins : la machine NEMEAU®

Ce procédé est un décanteur dynamique capable de séparer la matière solide du liquide sous fort débit, 450 m³/heure représentant le débit maximal de l'actuelle machine disponible, NEMEAU® 450.

Le décanteur dynamique est donc constitué de trois parties *i.e.* trois containers aux gabarits routiers et ferroviaires. Un premier container disposé au sol, en amont du procédé, qui comprend la partie technique, à savoir : un surpresseur permettant d'alimenter l'ensemble du décanteur dynamique en eau claire, une installation de préparation de floculant d'une capacité de 4 m³, une pompe à polymères d'un débit allant jusqu'à 5 m³/heure, des sondes permettant de mesurer les caractéristiques physico-chimiques du matériau fin à déshydrater en entrée (turbidité, pH, redox) ainsi que le débit du pompage. Puis, une cuve de décantation, (second container) d'une capacité de 70 m³, est montée en appui sur un troisième au sol, aligné sur le premier. Le second container renferme le procédé permettant la séparation des fractions grossières (>2 mm), des particules fines des sédiments. En fond de cuve, un système de vis sans fin permet l'extraction des particules fines déshydratées, d'une capacité d'extraction jusqu'à 50 m³/heure. Enfin, le troisième container est un local pour entreposer le matériel nécessaire au bon fonctionnement du procédé NEMEAU® 450. De par sa compartimentation en containers, l'installation de la machine ne requiert qu'environ une journée (8 heures) pour assurer son installation et son bon fonctionnement. Le montage des containers nécessite l'emploi d'une grue de levage de 50 tonnes. Une fois, le montage des trois containers réalisé, l'ensemble du procédé a une emprise au sol de 125 m², soit une longueur de 25 m pour une largeur de 5 m (voir figure 1).

(a) Le container 2 embarqué sur camion

(b) La machine en cours de fonctionnement sur le site de la carrière de Vignats (France)

Figure 1. La machine NEMEAU[®] 450.

2.2 Caractérisation et traitement d'un sédiment marin

2.2.1 Caractéristiques physico-chimiques

Pour une valorisation de sédiments marins en tant que matériau de remplissage ou de remblais et conformément au cahier des charges, un traitement à base de liant hydraulique seul (ciment) était envisagé avec un dosage de 20% par rapport à la masse des sédiments humides dragués avec une siccité de 50%.

Nous rappelons que la teneur en eau W (%) et la siccité S (%) s'expriment comme suit :

$$W = \frac{W_e}{W_s} \text{ et } S = \frac{W_e}{W_t} \quad (1)$$

Avec W_e , W_s , W_t les poids respectifs d'eau, de la matière sèche et total.

Cette étude menée sur ces sédiments propose l'utilisation de liants pouzzolaniques à un dosage inférieur à 20% pour des résistances mécaniques équivalentes. Cette proposition a considéré le point de vue économique (dosage inférieur à 20%, coût du liant) et le point de vue environnemental (covalorisation de sous-produits industriels). Dans cette étude, l'état de déshydratation des sédiments ont été assimilé aux performances du décanteur dynamique soit une siccité S de 50% ou une teneur en eau W de 100%. La caractérisation de base a porté sur les propriétés physico-chimiques des sédiments marins de Concarneau. Celles-ci sont reportées dans le tableau 1.

De par le type de dragage et de prélèvement, la teneur en eau moyenne de 261% est très élevée. Le sédiment possède aussi une forte teneur en matière organique équivalente à 15%.

Ces deux teneurs (W , MO) présentant de fortes valeurs sont un frein à la stabilisation de ces sédiments par liants hydrauliques, sans traitement préalable. Ces teneurs sont des paramètres déterminants du fait qu'il faut d'une part diminuer la teneur en eau et si possible la part de matière organique présente dans le sédiment. L'indice de plasticité I_p

Thème 8 – Gestion et valorisation des sédiments marins

atteint 59%, cette valeur permet de classer le matériau comme très plastique. Enfin l'analyse granulométrique révèle un sédiment majoritairement limoneux, les particules de dimensions inférieures à 63 μm représentent 68% des constituants.

Tableau 1. Quelques propriétés physico-chimiques du sédiment brut de Concarneau.

<i>Paramètres et unités</i>	<i>Méthodes ou Normes analytiques</i>	<i>Valeurs</i>
<i>Teneur en eau initiale (%)</i>	<i>Etuvage à 50°C</i>	$W_i = 261$
<i>Matière organique (%)</i>	<i>Perte au feu (550°C)</i>	$MO = 15$
<i>Limites d'Atterberg (%)</i>	<i>NF P 94-051</i>	<i>Limite de liquidité W_L = 118 Indice de plasticité I_p = 59</i>
<i>Nature granulométrique (%)</i>	<i>Granulométrie par tamisage Granulométrie laser</i>	<i>Argiles : $0 < d < 2 \mu\text{m} = 3$ Limons : $2 < d < 63 \mu\text{m} = 65$ Sables : $63 \mu\text{m} < d < 2 \text{mm} = 32$</i>

2.2.2 Mise en œuvre des formulations et évaluation des performances mécaniques

De récentes études au préalable en laboratoire et sur sites ont déjà abouti à de bonnes performances pour l'utilisation de liants pouzzolaniques en vue d'une valorisation de sédiments marins en technique routière (BEHMANESH, 2008 ; SILITONGA *et al.*, 2010 ; MIRAUI, 2010 ; OBANA *et al.*, sous presse). La stabilisation/solidification des sédiments de Concarneau a fait l'objet d'études sur des mélanges sédiment-liant-additif dont les formulations sont données dans le tableau 2. Ces mélanges ont donné lieu à la confection d'éprouvettes cylindriques, de 34 mm de diamètre et d'un élanement de 2. La teneur en eau W des sédiments incorporés dans les mélanges était de 100%, soit une siccité de 50%. L'ensemble des échantillons a été conservé sur paillasse à l'air libre à une température voisine de 20°C.

Des essais de résistance en compression simple ont été réalisés pour l'ensemble des mélanges étudiés aux durées conventionnelles de conservation de 7, 14 et 28 jours. Les teneurs en liants et additif données dans le tableau 2 sont exprimées en % de la masse du sédiment humide. Le dosage en liant pouzzolanique retenu correspond à un faible dosage comparativement à celui du ciment. Ce liant pouzzolanique est une cendre volante silico-alumineuse capable de stabiliser les sables et les sédiments fins de manière durable. L'additif utilisé est un hydroxyde de calcium, la chaux. Cet ajout est utilisé pour réduire la matière organique MO et la teneur en eau. Ainsi différentes

formulations de mélange ont été testées et comparées à la formulation de base, constituée de 20% de ciment. L'indicateur mécanique déterminant évalué est la résistance mécanique en compression R_c dont le seuil retenu est de 0,5 MPa. Ce seuil permettra de valider les formulations utilisées.

Tableau 2. Formulations proposées.

Références	Liant pouzzolanique (%)	Liant hydraulique (%)	Additif (%)
<i>Formulation F1</i>	10	0	4
<i>Formulation F2</i>	8	2	4
<i>Formulation F3</i>	7	3	4
<i>Formulation de base FB</i>	0	20	0

3. Résultats

3.1 A propos de la déshydratation des sédiments et fines de carrière

Deux chantiers opérationnels ont été menés, l'un concernant le pompage de sédiments dans le cas d'une vidange d'une chambre de dépôt du Port de Rouen, et l'autre, la diminution du volume des fines stockées d'une carrière de production de sables situé à Vignats. Ces deux chantiers ont permis de tester et de valider le procédé NEMEAU[®] avec des matériaux différents. Les sédiments en sortie de machine après séparation lors de la campagne d'essai, relative aux chambres de dépôt du port de Rouen ont montré des siccités équivalentes à 40%, soit une teneur en eau W de 150% (figure 2). Dans la deuxième application opérationnelle, les fines de carrière déshydratées présentent de meilleures valeurs de siccité, la valeur moyenne est de 49% soit une teneur en eau W voisine de 100% pour un matériau très fin dont le diamètre maximal des grains n'excède pas 200 μm .

La déshydratation effectuée sur ces sédiments et ces fines de carrière avec la machine NEMEAU[®] a fournie en sortie de machine des matériaux pelletables et possédant des siccités comparables aux performances espérées de ce procédé (LEVACHER & DHERVILLY, 2010). Par ailleurs pour compléter les performances de la machine, des analyses d'eaux à la sortie du procédé ont été réalisées en laboratoire agréé pour la mesure de la teneur en matières en suspension (MES) lors des essais réalisés sur le site de la carrière. Les valeurs moyennes des teneurs en MES se sont révélées inférieures à 90 mg/l.

(a) Extraction des sédiments déshydratés en sortie de machine

(b) Mise à terre des sédiments

Figure 2. Visualisation des sédiments.

3.2 Sur la validation des formulations proposées

L'analyse des résultats et des essais de compression simple sur les échantillons a permis d'établir les constats suivants (figure 3). L'évolution dans le temps des résistances R_c des formulations F1, F2 et FB présente une tendance classique avec des seuils respectifs de 0,4, 0,6 et 0,8 MPa atteint entre 14 et 28 jours. La formulation F3 ne présente pas de palier de résistance à 28 jours. Pour cette formulation F3 on observe qu'après 28 jours de conservation, la valeur de la résistance R_c est équivalente à celle obtenue pour la formulation de base FB. Les formulations F2, F3 et celle de base FB présentent des valeurs de R_c dès 14 jours supérieures à 0,5 MPa.

Figure 3. Evolution des résistances à la compression

La formulation F1 fournit des résistances en compression simple bien inférieure au seuil de résistance fixé à 0,5 MPa. Finalement, les formulations retenues pour une application sur site sont les formulations F2 et F3 qui respectent les conditions émises dans le Cahier des Clauses Techniques et Particulières du CCTP relatif au dragage du port de Concarneau (CCI QUIMPER CORNOUAILLE, 2011), et ce pour une valorisation en matériau de remplissage d'une zone de stockage.

4. Conclusion

Les performances de la machine *i.e.* du procédé NEMEAU[®] en termes de déshydratation sont validées sur les deux chantiers opérationnels. Les siccités obtenues sont comprises entre 40 et 49% selon le matériau à déshydrater.

Une optimisation de la siccité sur les matériaux fins en sortie peut être menée afin d'augmenter sa valeur, elle dépend aussi de l'adéquation entre le floculant et le sédiment. Il a été démontré que comparativement à une formulation de traitement des sédiments marins suggérée dans un CCTP, des formulations plus économiques (dosages moindres) F2 et F3 proposées répondent aux exigences de ce CCTP pour permettre une valorisation en matériau de remplissage. Ces deux formulations qui covalorisent un sous-produit industriel (liant pouzzolanique) correspondent bien à la notion de gestion durable.

5. Références bibliographiques

- BEHMANESH J. (2008). *Etude de la durabilité d'un sédiment, traité au ciment et additifs*. Thèse, Université de Caen, 215 p.
- CCI QUIMPER CORNOUAILLE (2011). *Cahier des clause techniques particulières du dragage du port de Concarneau*. Marchés publics 2011, 10 p.
- LEVACHER D, DHERVILLY P. (2010). *Déshydratation mécanisée in situ de sédiments fraîchement dragués ou mis en dépôts : le projet SEDIGATE[®] I*. XI^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d'Olonne, pp 859-868. doi:10.5150/jngcgc.2010.093-L
- MANCIOPPI L, LEVACHER D., BERTRAND M., DHERVILLY P., XU C. (2011). *Caractérisations géotechniques et mécaniques des sédiments marins de dragage du port de Concarneau*. 2^{ème} Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Tanger, pp 215-220. doi:10.5150/cmcm.2011.046
- MIRAOU M. (2010). *Mise en œuvre d'une démarche de prétraitement et de traitement des sédiments de dragage en vue d'une valorisation dans le génie civil*. Thèse, Université des sciences et technologies de Lille 1, 210 p.
- OBANA M., LEVACHER D., DHERVILLY P. (sous presse). *Durability properties of marine sediment stabilized by pozzolan and alkali activated binders*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, Taylor & Francis editions.

SILITONGA E., LEVACHER D., MEZAZIGH S. (2010). *Utilization of fly ash for stabilization of marine dredged sediments*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, Vol. 14, n° 2, pp 253-265. doi:10.3166/ejece.14.253-265